

УДК 669—131.4

Э. Г. Мурадян *, В. Ю. Ярков, А. Е. Устинов

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

*edgarinho96@mail.ru

Научный руководитель — проф., д-р техн. наук М. Л. Лобанов

ОПТИМИЗАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ СОСТАВОВ И ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИНТЕРВАЛОВ ОБРАБОТОК МАРТЕНСИТО-СТАРЕЮЩИХ СТАЛЕЙ НА ОСНОВЕ X13 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

Основными характеристиками изделий из перспективных сталей феррито-мартенситного класса на основе X13 являются высокие показатели прочности и сопротивление ползучести при повышенных температурах. С помощью термодинамических расчетов проведен анализ фазовых состояний легированных марок сталей для оптимизации их химического состава и нахождения наилучших температурных интервалов их горячей деформации.

Ключевые слова: мартенсито-стареющая сталь, фазовые равновесия, Thermo-Calc, кристаллизация, химический состав, аустенит, феррит, горячая деформация

E. G. Muradyan, V. U. Yarkov, A. E. Ustinov

OPTIMIZATION OF CHEMICAL COMPOSITIONS AND TEMPERATURE INTERVALS OF PROCESSES OF MARTENSITO-AGING STEELS BASED ON X13 USING THERMODYNAMIC CALCULATIONS

The main characteristics of the promising products ferritic-martensitic steels class based X13 are high strength and creep resistance at elevated temperatures. Using thermodynamic calculations analysis phase states alloyed steels to optimize their chemical composition and finding the best temperature ranges of the hot deformation.

Key words: martensite-aging steel, phase equilibrium, Thermo-Calc, crystallization, chemical composition, austenite, ferrite, hot deformation

Разработка сталей феррито-мартенситного класса на основе X13, вызывает большой интерес для создания современных высоко-

прочных, коррозионностойких изделий, работающих в условиях повышенных и сверхнизких температур [1; 2; 3], в том числе для изготовления элементов конструкций ядерных реакторов на быстрых нейтронах с глубоким выгоранием топлива [4; 5].

Технология производства изделий из сталей феррито-мартенситного класса обусловлена рядом проблем. Известно [6], что любые промышленные операции, в главном случае горячая прокатка, проводятся наилучшим образом, если структура обрабатываемого изделия будет однофазной. Большое количество легирующих аустенито- (C, Mn, Ni, Co) и ферритостабилизирующих (Cr, Si, Mo, W, Nb, V) элементов в химическом составе стали может приводить как к зональной, так и к фазовой ликвации в структуре непрерывно литого сляба. Вариации фазового состава при температурах кристаллизации и горячей деформации могут приводить к горячему растрескиванию полуфабриката при его прокатке.

Важно отметить, что разработка или оптимизация промышленных технологий производства изделий из подобного рода сталей всегда связаны с большими экономическими затратами из-за высокой себестоимости готового продукта. В настоящее время имеется возможность теоретической (расчетной) оценки фазовых составов материалов в зависимости от их химических составов и температуры. Программное обеспечение Thermo-Calc позволяет достаточно точно спрогнозировать фазовые составы при равновесной и слабонеравновесной кристаллизациях, а также оценить основные критические точки материалов и установить температурные интервалы фазовой стабильности при заданных вариациях химического состава.

В работе проведен термодинамический анализ для феррито-мартенситных сталей на основе X13 с целью нахождения оптимального сочетания химического состава и температурных интервалов для горячей прокатки.

Алгоритм анализа включал: 1) расчет фазовых равновесий при кристаллизации для среднего химического состава; 2) аналогичный расчет при максимуме ферритообразующих, минимуме аустенитообразующих элементов; 3) расчет при обратном соотношении аустенито- и ферритообразующих элементов; 4) расчеты по влиянию отдельных легирующих элементов на фазовый состав стали при кристаллизации.

С помощью программного обеспечения Thermo-Calc установлено, что в пределах одной марки стали при разных вариациях химиче-

ского состава возможны большие различия в фазовом составе, которые могут приводить к браку полуфабриката в процессе его горячей прокатки (рис., а). Однако существуют вариации химического состава, при которых в широком интервале температур возможно осуществить горячую прокатку изделий в однофазной аустенитной области (рис., б).

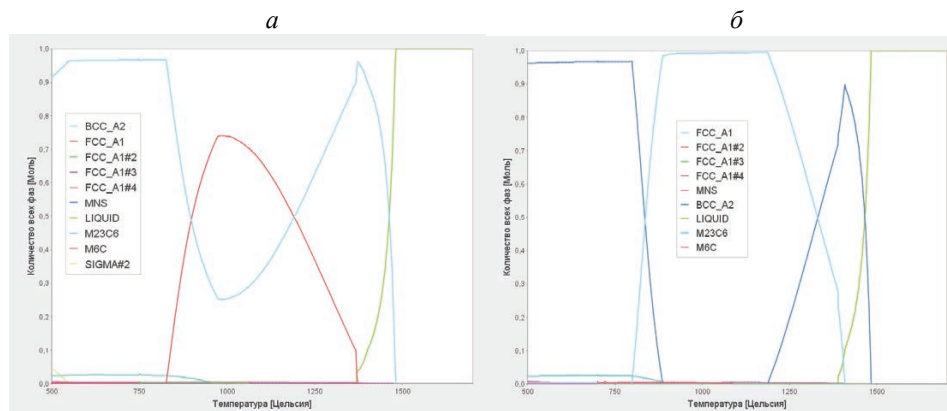


Рис. Результаты расчетов фазовых равновесий
в сталях феррито-мартенситного класса
при различных вариациях химического состава:

а — недопустимый химический состав; б — оптимальный химический состав

Показана возможность оптимизации химических составов сталей для проведения горячей деформации в интервале температур, находящемся в однофазной аустенитной области.

Литература

1. Биронт В. С., Крушенко Г. Г. Влияние термической и термоциклической обработки на структуру и свойства мартенситно-старееющей стали // Engineering & Technologies. 2008. Т. 1, № 3. С. 247–255.
2. Перкас М. Д., Кардонский В. М. Высокопрочные мартенситностареющие стали. М. : Металлургия, 1970. 224 с.
3. Evolution of microstructure in stainless martensitic steel for seamless tubing / I. Yu. Pyshmintsev [et al.] // Mechanics, Resource and Diagnostics of Materials and Structures (MRDMS-2017). AIP Conf. Proc. 2015. P. 040048-1-040048-5.

4. Соловьев В. А., Рачков В. И., Образцов С. М. Оптимизация химического состава феррито-мартенситной стали в целях повышения кратковременных механических свойств // Атомная энергетика. 2013. № 1. С. 22–23.

5. Перспективные высокохромистые стали для применения в оболочках твэлов реакторов на быстрых нейтронах / Е. А. Медведева [и др.] // Физика и химия обработки материалов. 2001. № 6. С. 26–31.

6. Фазовые превращения и свойства электротехнических сталей / Л. В. Миронов Л. В. [и др.]. Свердловск : Металлургиздат, 1962. 35 с.